

LED 日光灯

— 性能、电源、结构和寿命 —

上海龙茂微电子有限公司 茅于海

最近以来，LED 日光灯成为最早进入室内的 LED 灯具之一，因为它相对于荧光灯来说具有很多优点。

一. 优点

相对于荧光灯来说，LED 日光灯具有 10 大优点：

1. 发光效率高：

荧光灯的发光效率大约是 55-80 lm/W (Philips 公司 T8 荧光灯的发光效率为 72lm/W)，而 LED 的发光效率在 100 lm/W 以上，最近 Cree 公司的 XLampXP-G 的发光效率已经到 130 流明/W，而且以后还会不断提升。二者之差现在已经将近一倍。而以后有可能达到 3 倍以上。

2. 灯具效率高：灯具的效率主要是指有效光效，因为荧光灯是 360 度发光的，而在反方向发出的光就没有什么用处。所以荧光灯通常采用一个白色的灯罩，可以把相当一部分的反向光反射回来，一般来说，荧光灯的灯具效率大约只有 70%。而 LED 日光灯则是 120 度发光的，所以全部光都是有效光。虽然有时候也会觉得 120 度发光角度窄了一点，不过大多数情况下还是够用的。而且这个发光角度也是可以根据需要来加以调整的。

前面提到 Philips 的 T8 荧光灯的发光效率为 72lm/W，36W 的荧光灯一共发出 2592 流明，但是灯具效率只有 70%，所以有效的流明数为 1814.4 流明，而 LED 的发光效率已经超过 130lm/W，假定为 100lm/W，那么只要 18W 就可以达到 1800 流明，也就是只要荧光灯一半的功率就可以有相同的亮度。

而且 LED 的发光效率还在逐年升高。

3. 电源效率高

因为所有灯具除白炽灯以外都是需要有专门的电源供电的，电源的效率也就影响了整个灯具的效率。

下面以 Philips 公司的 36WT8 荧光灯为例。它的额定输出功率为 36W，但是由于接入了电感镇流器，实测输入功率为 42.4W，也就是铁芯电感损耗了 6.4W，效率降低为 85%，大多数国产的铁芯电感功耗在 10W 以上，功率因素低于 0.512。而 LED 的电源效率通常高达 90%，一个 18W 的 LED 日光灯只要 20W 的输入功率。功率因素也可以达到 0.9 以上。

和荧光灯相比大约可以节省一半以上的电，也就是说采用一个 18 瓦的 LED 日光灯可以取代一个 36 瓦的荧光灯。

不仅如此，LED 日光灯还有很多其他优点：

4. 寿命长：一个仔细设计的 LED 日光灯的寿命可以达到 5 万小时。而一个荧光灯的寿命通常只有 5,000 小时（有些国产的荧光灯寿命只有 300 小时）。二者相差将近 10 倍。最好的长寿命日光灯也只有 10,000 小时，二者也还相差 5 倍。

5. 不含汞，无污染。我们知道，荧光灯都含有汞。36mm 荧光灯中含有 25-45mg

的汞，26mm (T8) 中含有 20mg 的汞。而荧光灯都是采用易碎的玻璃作为外壳，一旦玻璃破碎，其中的汞就会马上就会蒸发到空气中，瞬间可使周围空气中的汞浓度达到 10-20 毫克/立方米，超过国家规定的 1000-2000 倍。而汞是一种对人体十分有害的有毒物质，汞蒸气达 0.04 至 3 毫克时会使人 2 至 3 月内慢性中毒，达 1.2 至 8.5 毫克时会诱发急性汞中毒，如若其量达到 20 毫克，会直接导致动物死亡。而 1mg 的汞就足以污染 5454.5 公斤的饮用水，使之达不到饮用标准。而 LED 日光灯中不含任何有毒物质，是一种完全绿色环保无污染光源。

6. 色温范围广，几乎可以提供任意色温，而且还可以提供红绿蓝以至任何一种颜色的灯光。
7. 显色指数高，白炽灯的显色指数为 95，荧光灯为 65-80，而 LED 日光灯则可以 >80。
8. 没有紫外线辐射。
9. 非玻璃制品，不易破损，耐冲击，耐振动。
10. 外置隔离电源的 LED 日光灯，在灯管两端都接触不到市电高压，只有低于 36V 的直流安全电压，不存在触电的危险，完全是一种安全的灯具。

二. 价格

目前 LED 日光灯唯一的缺点就是价格高。

不过尽管目前 LED 日光灯的价格大约是荧光灯的十倍左右，如果联系到它的寿命、节电和无污染来看，仍然是合算的。因为如果和寿命为 5,000 小时的荧光灯相比，那么寿命为 5 万小时的 LED 日光灯就已经值得花 10 倍的价钱去买，而在其间所节省的电能就完全是纯收益了。在日本，因为荧光灯含汞，所以坏掉的荧光灯还要付出和买一个新的日光灯同样的钱作为有毒物质处理费。所以，在日本即使采用长寿命（10,000 小时）的荧光灯，所付出的钱也相当于贵 10 倍的 LED 日光灯。

在一些 24 小时连续工作的场地，例如地下停车场、24 小时加班生产的工厂等地方。节电也是十分重要的。如上所述，一根 T8 的 LED 日光灯大约可以节省 20 瓦电，一年下来就可以节省 $20 \times 365 \times 24 / 1000 = 175.2$ 度电。假如以每度电 0.7 元计算，那么一年下来，可以节省电费 122.64 元，两年下来，就可以节省出这根 LED 日光灯的成本。以后所节省的电费就成为纯收益了。

所以现在国外有一种称之为 EMC（能源管理合同 Energy Management Contract）作法。就是由一家财团或银行出资。替一个地下停车场或商场免费安装 LED 日光灯，但是要向业主收取所有节省下来的电费，协议有效期可能为 5 年。只要 2 年以后，就可以回收所有投资，第三年开始，所有节省下来的电费就变成是纯收益了。这是一个十分有利的投资项目。国内也开始有人这样做了。

更何况按照 Hantz 定律，LED 的价格每十年将降低十倍！

三. LED

为了得到比较均匀的发光和把热量分散开，LED 日光灯通常都是采用很多个小功率的 LED 灯珠串并联而构成。小功率 LED 有两种，一种是插针式，俗称草帽管，还有一种是贴片式。早期 LED 日光灯大都用草帽管，但是这种插针式 LED

因为热阻大（高达 450°C/W ），光衰严重，所以现在已经很少人用，而大多数采用贴片式的了。各种 LED 的主要指标为发光效率，小功率 LED 通常直接以其发光的流明数表示，寿命（通常以在多少结温时的寿命来表示），和热阻 R_{js} 。

几种常用的贴片式 LED 的指标如下所示：

厂家	型号	发光 mcd	发光 lm	热阻 $^{\circ}\text{C/W}$	寿命 70%, hrs
X 公司	3020	1500-2100		135	
G 公司	3020	1800-2600	5.6 (20mA)	160	20,000($T_a=60^{\circ}\text{C}$, 20mA)
L 公司	3014	2100-3600	9 (30mA)	45	50,000($T_a=45^{\circ}\text{C}$, 30mA)

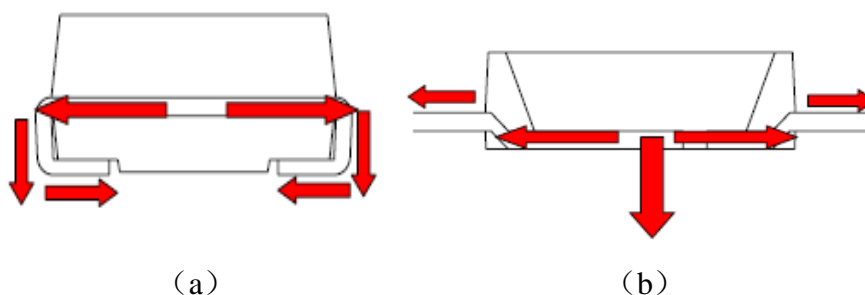


图 3. 3020 (a) 的散热和 3014 (b) 的底板散热机构

由于 3020 只有两端电极焊接散热，而 3014 采用了底板散热，所以二者的热阻相差 3 倍多，二者的寿命也相差两倍多。3014 工作于 30mA，所以它的发光也高达 9 流明。相当于 90 lm/W 的发光效率。

在日光灯里所用的 LED 数目通常在 200 颗以上，显然不可能全部串联，而必须串并联。一般来说，希望串得少的，并得多，这样，一旦某一串中有一个 LED 开路，只会使这一串不亮，而这一串的电将分摊到剩余的几路中去。例如，总数为 200 个的 LED，假如连结成 8 串 25 并，每串 30mA，25 串的总电流 750mA，有一串坏了，每一串的电只增加了 1.25mA。反过来，假如连成 25 串 8 并，每串 30mA，8 串总电流 240mA，一串开路，30mA 就分到剩下的 7 路中，每路就要平均增加 4.28mA。

不过有的 LED 每个都有一个并联的稳压二极管保护，即使有一个 LED 开路，这一串也不会都不亮，而只是这一个 LED 不亮而已。上述问题就不存在。

此外，假如串联的 LED 数目少于 10 个，那么它所需要的电源电压低于 35V，也就低于国际安全电压。

究竟串多少并多少，还和电源的可能性有关。这将在下一节中讨论。

四. 电源

LED 日光灯的电源分为内置式和外置式两种。所谓内置式就是指电源可以放在灯管内部。这种内置式的最大优点就是可以做成直接替换现有的荧光灯管，而无需作任何改动。所以内置式的形状都是做成长条形，以便塞进半圆形的灯管中去。

下面先介绍两种内置式，非隔离型和隔离型。

1. 非隔离式恒流电源：非隔离是指在负载端和输入端有直接连接，因此触摸负载就有触电的危险。

目前用得最多的是非隔离直接降压型电源。也就是把交流电整流以后得到直流高压，然后就直接用降压（Buck）电路进行降压和恒流控制。其电原理图如下图所示：

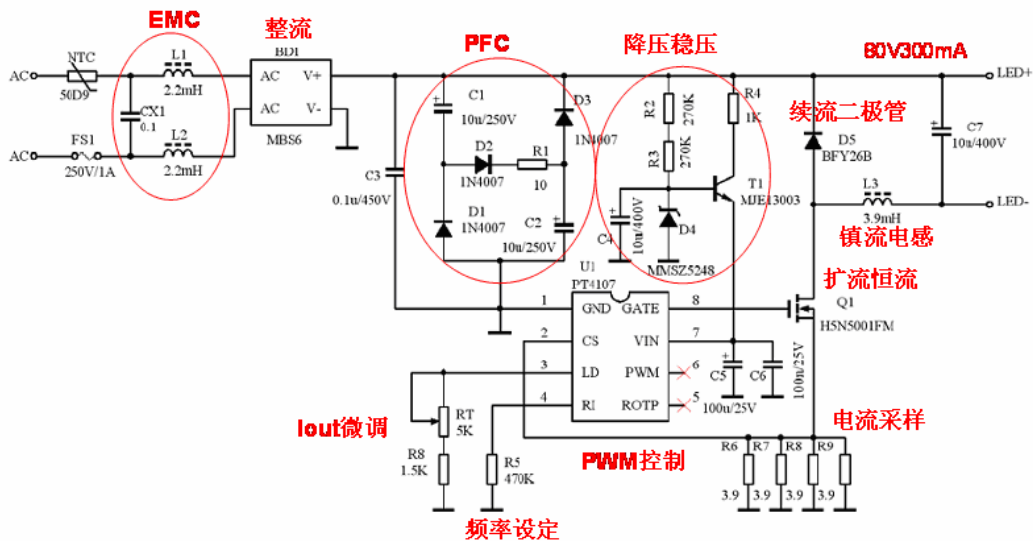


图 1. 非隔离恒流源的电原理图

这种非隔离式电源的主要技术特点：从 18V 到 450V 的宽电压输入范围，恒流输出；采用频率抖动减少电磁干扰，利用随机源来调制振荡频率，这样可以扩展音频能量谱，扩展后的能量谱可以有效减小带内电磁干扰，降低系统级设计难度；可用线性及 PWM 调光，支持上百个 0.06W LED 的驱动应用，工作频率 25KHz-300KHz，可通过外部电阻来设定。

非隔离恒流源的优点是简单、指标高，它的输出电流可以按 LED 串并联的个数决定。但是大多数情况下，它的输出电流不能太大，输出电压也不能太高。例如 264 个小功率 LED 连接成 22 个串联，12 串并联，每串 20mA，一共 240mA。体积也可以做得很小，通常是做成长条形的，以便放进 T10 或 T8 的管子里。假如每串的电是 30mA，12 并就是 360mA。在有些非隔离的电源中就无法实现，为了保持总电流 240mA 不变，就只能改成 8 串并联。但假如 LED 的总数不变，就要求串联的数目增加到 33 个。这时候总电压就会增加到 108.9V。但是通常这种非隔离恒流源的允许的最高输出电压是 80V。只能维持原来的 22 串，这样 LED 的总数就只能 176 颗，即使采用 30mA，其总流明数有可能不能满足要求。

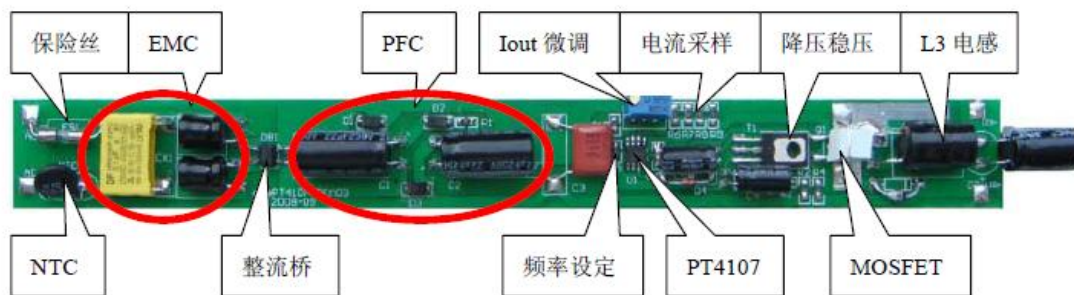


图 2. 非隔离降压式恒流源的外形照片

通常其效率大约在 88-90% 之间，功率因素大约在 0.88-0.92 之间。

然而这种非隔离电源也有一些局限性，因为非隔离的电源会把交流电源的高压引入到负载端，从而引起触电的危险。通常 LED 和铝散热器之间的绝缘也就靠铝基板的印制板的薄膜绝缘。虽然这个绝缘层可以耐 2000V 高压，但有时螺丝孔的毛刺会产生所谓的爬电现象，使得难以通过 CE 论证。

2. 隔离式恒流电源：隔离式是指在输入端和输出端有隔离变压器隔离，这种变压器可能是工频也可能是高频的。但都能把输入和输出隔离起来。可以避免触电的危险。这种隔离式的日光灯电源原理图如图 3 所示。

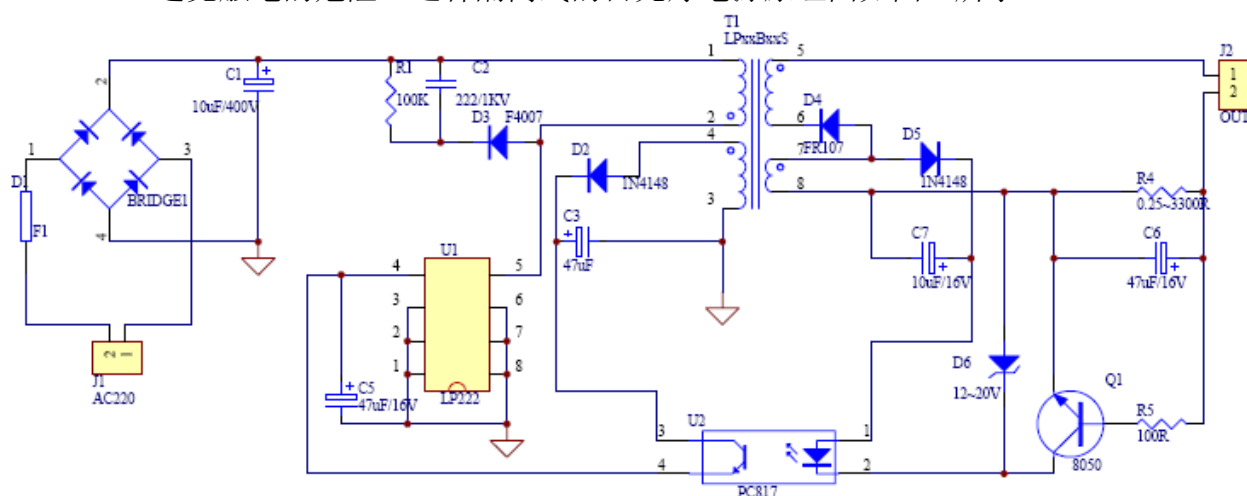


图 3. 隔离式 LED 日光灯电源原理图

这种隔离式 LED 日光灯电源外形照片如下图所示，



图 4 隔离式 LED 日光灯电源的照片

一般来说，由于加入了变压器，所以隔离式电源的效率会有所降低，通常大约在 88% 左右。而且变压器的体积也比较大。放进 T10 灯管还可以，但是放进 T8 的灯管就比较紧张。

3. 内置式电源的优点和代价

内置式电源的最大优点就是能够直接替换现有采用电感镇流器的荧光灯，而不需要拆去任何东西。现有荧光灯的电源分两种，如图 5 所示：

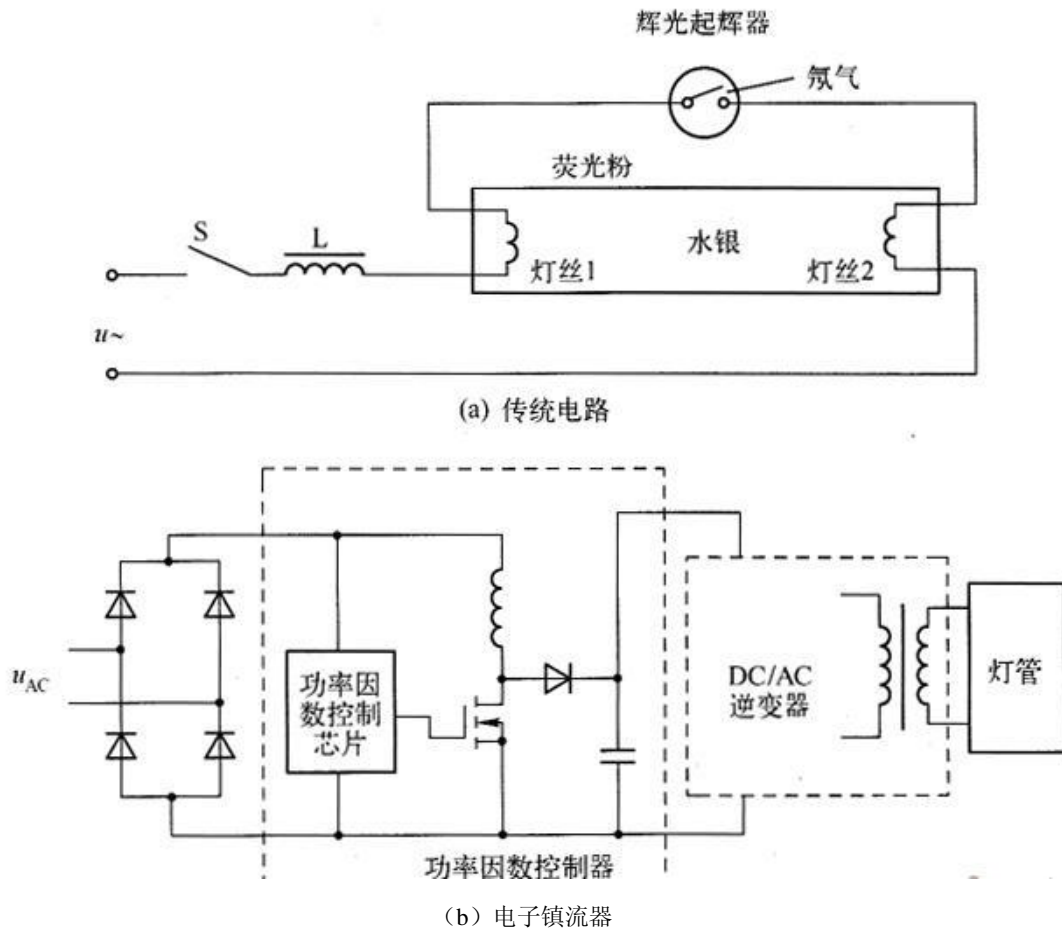


图 5. 荧光灯电源电路图

我们知道，最普通的荧光灯的起辉是采用一个串联的铁芯电感和一个并联的起辉器（图 5a）。

在直接替换时，只要拔掉起辉器就可以了。但是由于铁芯电感仍然串联在电路中，所以它仍然带来将近 6.4-10W 的损耗，结果使得这部分的额外损耗大大降低了 LED 的节电功效。例如，本来一个 18W 的 LED 日光灯可以取代一个 36W 的荧光灯，不论采用上述非隔离式还是隔离式的电源，其效率至少为 88% 以上，那么其输入功率为 20.45W，现在还要加上这个额外的 6.4W，使得输入功率变成 26.85W，其总效率也就降低为 67%，如果采用某些国产的铁芯电感，其功耗高达 10W，输入功率就要变成 30.45W，使得总效率只有 59%。这就使 LED 的节电效能大打折扣。不仅如此，由于电源内置，电源的热量也就加入到管内，假定电源的效率为 88%，所以就有 2.45W 的热量也要散去，假定 LED 本身的发光效率为 30%，也就是有 70% 的电功率变成热量，相当于 12.6W 的电功率变成热量，现在还要再加上内置电源的 2.45W 的热量，相当于增加了 20% 的热量。使得 LED 的散热又增加的一份困难，或者说，使得 LED 的使用寿命也更加缩短。其实所增加的这部分热量还不至于缩短太多的寿命（20% 左右），然而把电源放倒管子

里面，电源本身就要承受由 LED 产生的很高的环境温度，这就大大降低了电解电容的寿命，也就降低了整个灯具的寿命。另外真正带来的问题是使得散热器的结构不能最佳化。这个问题才是更为严重的问题，会使 LED 寿命降低数倍之多。这将在以后做详细的解释。

假如原来采用的是电子镇流器（图 5b），那么直接替换所产生的问题就更麻烦了。因为这时候加在日光灯两端的是一个高频高压。必须先用整流器变成直流高压，再用降压恒流源去驱动 LED。这时候的效率将变成前面电子镇流器的效率和后面的降压恒流源效率的乘积，就可能连 70% 都不到。

4. 集中式外置电源

为了得到最高的性能最好采用集中式外置电源。因为目前推广 LED 日光灯的主要场所是政府机关、办公室、商场、学校、地下停车库、地铁等场所，往往一间房间采用不止一个日光灯，可能在 10 个以上。这时候就应该采用集中式的外置电源。所谓集中式是指采用一个大功率的 AC/DC 开关电源，统一供电，而每个日光灯则采用单独的 DC/DC 恒流模块。这样可以得到最高的效率和最大的功率因素。

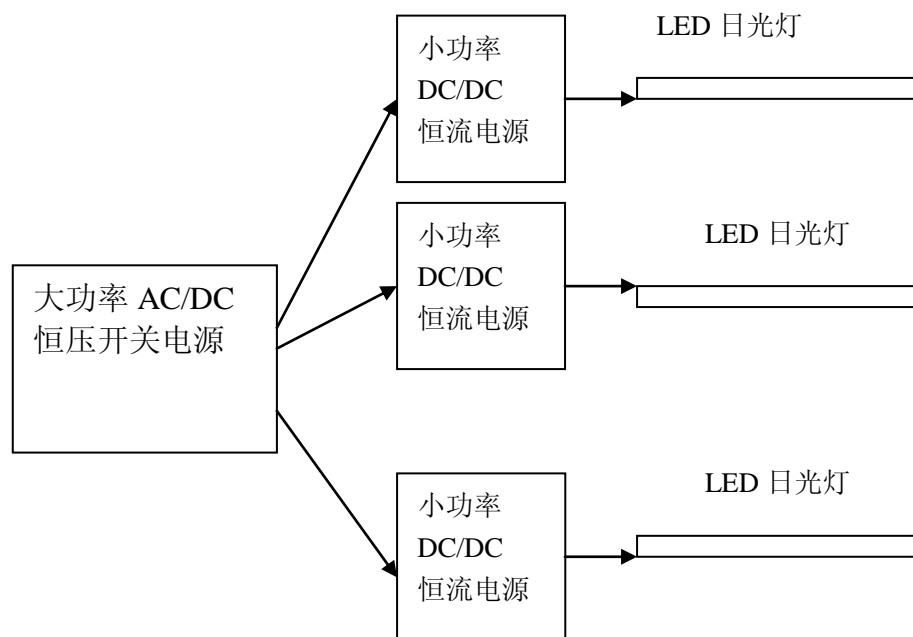


图 5. 集中式外置电源

现在大功率的 AC/DC 开关电源的效率很容易做到 95%，功率因素可以做到 0.995。而降压式的 DC/DC 恒流源的效率也很容易做到 98%。这样总效率可以做到 93.1%。这时的性能可以做到最高。

以 20W LED 灯管为例，假如采用非隔离内置式电源，直接用 220V 供电和外置式集中供电比较，实测的结果如下。

性能指标	内置式非隔离电源本身	内置式加上镇流电感	内置式加上电子镇流器	外置式（每根灯管）
总功率	25.6W	26.85W	30.5W	22.18W
效率	78%	74%	65%	92%
功率因素	0.946	0.51	0.916	0.99

集中式供电的优点是显而易见的。而且，它还是一种隔离式电源，在灯管处

没有 220V 高压，只有低于 36VDC 的直流低压，也是符合安全使用的条件。另外，这种结构也很容易实现各种调光方案，例如手动调光，光敏调光，只要把调光控制信号送到各个 DC/DC 恒流模块就能实现。其具体的方框图如图 6 图 7 所示。

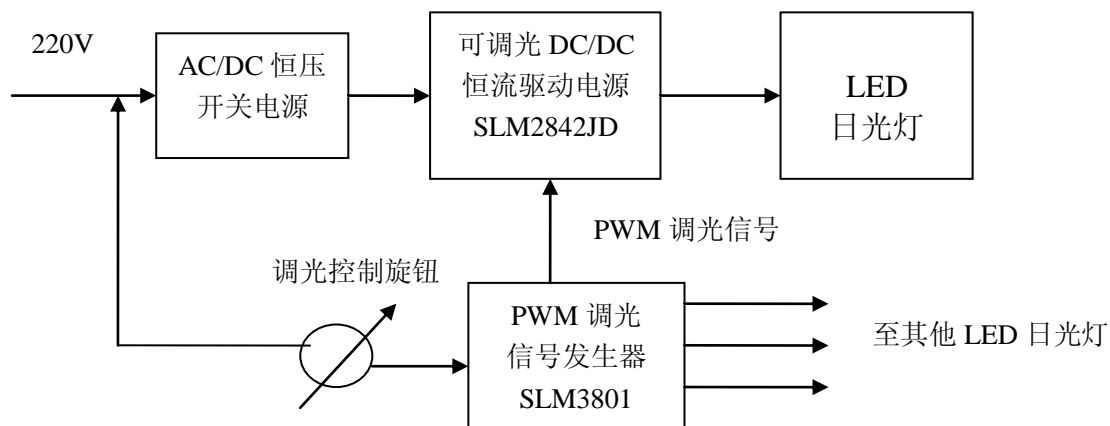


图 6. 手动调光日光灯方框图

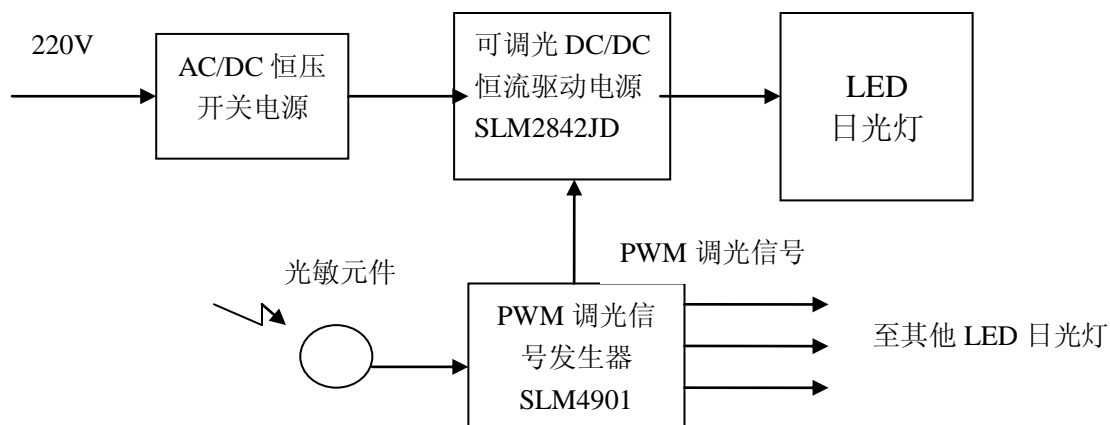


图 7. 光敏调光日光灯的方框图

五.结构

按说，LED 日光灯既然称为日光灯那么它的结构一定就是荧光灯的模样，连长短、粗细也都一样，甚至称呼也是 T10、T8、T5，也都一样，也就没有什么可以讨论的了。其实则不然。LED 日光灯在这方面走了很多弯路，是值得大书特书的。

1. 全塑灯管，早期的 LED 日光灯采用的是全塑灯管，因为主要采用非隔离式电源，为了避免触电问题，所以更希望采用全塑灯管。里面采用的是 $\phi 5$ 的草帽管 LED。但是很快就证明了这种日光灯的光衰很严重，寿命非常短，不到 1000 小时就坏了。这才发现，最大的问题是散热问题。由于把热量全部封死在管内，根本无法散出去，再加上草帽管本来寿命就短，当然不可能长寿命。

2. 半塑半铝管，在发现了散热问题以后，就想到采用半塑半铝的方案(图8)。

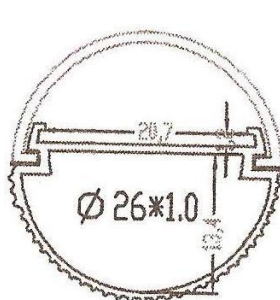


图8. 半塑半铝灯管

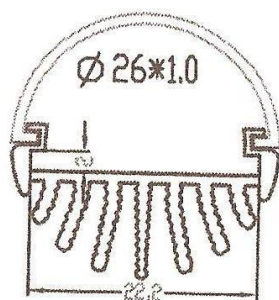
在需要透光的那一半采用塑料，在不需要透光而需要散热的那一半就采用铝合金。电源当然是放在铝管里面。看来问题似乎是解决了。然而因为LED日光灯的功率通常在20W左右，它的发热量还是相当大的。半根铝管并不能解决它的散热问题。所以又提出另一种散热的铝管结构。

3. 扇骨形铝管(图9)。

它把电源放到管外，从而可以把半边铝壳完全做成散热器。扇骨形铝管采用扇骨形状的散热结构，大大增加了散热器面积。相对于半圆形的铝管来说，它的散热面积至少增大了3倍以上。再加上电源不放在管内，又可以减少热量，这就大大延长了LED的寿命。



(a)普通半铝半塑管



(b)扇骨形铝塑管



(c)二者的实物照片

图9. 扇形灯管

六. 寿命

我们知道小功率LED指示灯的寿命是非常之长，只是当LED作为照明器件以来，LED的寿命问题才被提出来。其实LED的寿命完全取决于它的结温。只要结温够低，LED的寿命提高到十万小时以上是没有问题的。

但是由于LED本身的发光效率目前还是比较低，大约还有70%的输入功率要转化为热能，如果这些热不能很好地散发出去，LED的结温就会升高，于是LED的寿命就会随之降低。所以延长LED寿命的根本办法就是改进其散热。改进散热要从LED本身做起。前面提到的3014，就是靠增加底板金属面积而改善了散热，使其热阻降低到只有 51°C/W 。只要散热器做得足够好，可以保证接脚温度在 60°C 以下，那么其寿命可以保证在5万小时以上。

我们实测的结果也证明了这点，在25度室温下，我们测得铝散热器的表面温度

为 35 度左右，如果在 45 度环境温度时，那么散热器表面温度就应当是 55 度，因为采用了扇骨形铝塑管，铝基板和铝散热器的热阻大约 50° C/W。所以到 LED 底板温度大约是 60 度。因此可以保证其寿命为 5 万小时以上。

最后我们可以给出各种结构和电源的综合优缺点比较表：

内置式非隔离电源	内置式隔离式电源	外置式非隔离电源	外置式隔离式电源	外置式集中供电电源
可直接替换铁芯电感荧光灯	可直接替换铁芯电感荧光灯	无法直接替换需拆去镇流器	无法直接替换需拆去镇流器	无法直接替换需拆去镇流器
不易通过 CE、UL 认证	容易通过 CE、UL 认证	不易通过 CE、UL 认证	容易通过 CE、UL 认证	容易通过 CE、UL 认证
存在触电隐患	无触电隐患	存在触电隐患	无触电隐患	无触电隐患
效率低：67%	效率低：67%	效率高：88%	效率高：90%	效率极高：93%
功率因素差：0.51	功率因素差：0.51	功率因素高：>0.9	功率因素高：>0.9	功率因素极高：>0.99
电解电容温升高，电源寿命低	电解电容温升高，电源寿命低	电解电容温升高，电源寿命低	电解电容温升高，电源寿命高	电解电容温升高，电源寿命高
散热差、LED 寿命低：<10,000hrs	散热差、LED 寿命低：<10,000hrs	散热好，LED 寿命高：>50,000hrs	散热好，LED 寿命高：>50,000hrs	散热好，LED 寿命高：>50,000hrs
电源成本低：<19 元	电源成本高：>35 元	电源成本略高：>20 元	电源成本略高：>36 元	电源成本高：>50 元
LED 或电源损坏时都要一起丢弃	LED 或电源损坏时都要一起丢弃	LED 或电源损坏时不必一起丢弃	LED 或电源损坏时不必一起丢弃	LED 或电源损坏时不必一起丢弃
无法调光	无法调光	无法调光	无法调光	可以调光

展望

目前中国每年要生产几十亿支荧光灯，这些荧光灯废弃以后，渗透到地下水中的水银不知道要给我们的后代带来多大的危害性。如前所述，LED 日光灯比起传统的荧光灯具有无可比拟的优点，而且随着 LED 的发光效率的逐年提高，成本逐年降低，全面取代荧光灯的时代指日可待。

但是现在全国每年顶多生产几十万支 LED 日光灯，而且大部分是出口，国内使用寥寥无几。

实际上，应该说即使现在它在经济上已经是完全值得取代现有荧光灯，再加上它的无毒，环保，...，等等优点，现在就值得大力推广。尤其是作为政府和各种非盈利绿色环保组织和机构，从现在开始就应该大力宣传各种 LED 灯具的优越性，对广大人民群众进行宣传教育，宣讲其优越性。各个银行、金融机构更应该全力参加 EMC 合同，减少人们的顾虑，使得其更容易推广。尤其是节能环保是关系到减缓大气变暖、拯救地球的重要措施。是人人都要积极行动起来头等大事。希望我们推广 LED 日光灯也能在这个过程中贡献我们一份微薄的力量。